JOURNAL DE LA SOCIÉTÉ STATISTIQUE DE PARIS

SERGE CALABRE

Les mouvements à court terme et à moyen terme des prix des métaux : analyse spectrale

Journal de la société statistique de Paris, tome 118, n° 2 (1977), p. 138-153

<http://www.numdam.org/item?id=JSFS_1977__118_2_138_0>

© Société de statistique de Paris, 1977, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Journal de la société statistique de Paris » (http://publications-sfds.math.cnrs.fr/index.php/J-SFdS) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (http://www.numdam.org/conditions). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
http://www.numdam.org/

LES MOUVEMENTS A COURT TERME ET A MOYEN TERME DES PRIX DES MÉTAUX : ANALYSE SPECTRALE

Serge CALABRE

Assistant en sciences économiques à l'université de Montpellier I

L'analyse spectrale fournit un moyen d'investigation des cycles éventuels et des fluctuations irrégulières de l'évolution à moyen terme des prix des métaux. Elle met en évidence une évolution à court terme heurtée, proche d'un processus purement aléatoire, auquel se superpose une fluctuation approximativement quadriennale, associée à la conjoncture économique générale. Elle souligne aussi le caractère international de la conjoncture sur les marchés des métaux.

The spectral analysis provides a mean of investigation of the potential cycles and of the irregular fluctuations of the middle term evolution of the prices of metals. It puts in evidence a harsh short term evolution, close to a purely random process upon which an approximately quadrennial fluctuation appears, linked with the general economic situation. It points out too the international character of the overall economic situation on the metals market.

Die Spektralanalyse ist ein Mittel zur Untersuchung der eventuellen regelmässigen Perioden und der unregelmässigen Schwankungen in der Entwicklung der Metallpreise in mittleren Perioden. Sie macht klar erkenntlich eine Entwicklung fur kurze Zeitläufe nahe einem Prozess der von der Wahrscheinlichkeit beherrscht ist. Dieser Prozess wird überlagert von einer Zeitperiode von ungefähr vier Jahren, der mit der allgemeinen Wirtschaftslage zusammenfällt. Diese Spektralanalyse macht auch den internationalen Charakter der Konjunktur der Metallmärkte ersichtlich.

Les fluctuations des prix de gros des métaux soulèvent des problèmes considérables par leur ampleur et leur irrégularité. La difficulté de leur explication et de leur prévision éventuelle vient de la complexité des phénomènes qui les engendrent.

L'analyse chronologique traditionnelle qui décompose les chroniques en composantes simples (tendancielle, cyclique, saisonnière, accidentelle) par soustraction dans le domaine du temps se heurte à l'irrégularité de ces fluctuations.

Au contraire, l'analyse spectrale, qui se situe dans le domaine des fréquences, permet l'étude de cette irrégularité même (1). En effet, elle repose sur le principe de la décompo-

1. Le principe et les instruments mathématiques de l'analyse spectrale ont été présentés par l'auteur dans un document précédent : Calabre [3.] Le lecteur trouvera des exposés plus systématiques dans Blomme et Philips [2], Fishman [5], Granger [6], Jenkins et Watts [11].

sition d'une chronique stationnaire en composantes sinusoïdales de caractéristiques (périodes, amplitudes) différentes. L'importance relative d'une composante dans la chronique est mesurée par sa contribution à la variance totale de la chronique; la fonction de densité spectrale ou spectre associe à chaque fréquence de décomposition la contribution relative de la composante correspondante.

L'analyse spectrale est ainsi toute désignée pour l'étude des régularités périodiques dans l'évolution d'une chronique; mais elle se présente également comme un moyen fructueux d'investigation des fluctuations irrégulières d'une chronique dont elle permet d'apprécier le caractère plus ou moins heurté de l'évolution, envisagée sous l'angle de toute une gamme de fréquences.

L'analyse spectrale constitue aussi un outil puissant d'étude des relations entre deux chroniques; elle permet de comparer leurs composantes de même fréquence en termes de degré de relation linéaire (ou cohérence), de déphasage et de phénomène d'amplification (ou gain) d'une composante sur l'autre. Cette application de l'analyse spectrale permettra de souligner le caractère international de la conjoncture sur les marchés des métaux.

1. *La décomposition des fluctuations des prix des métaux dans le domaine des fréquences*

1.1. *La détermination des prix des métaux*

L'importance des fluctuations des prix des métaux de base (cuivre, étain, plomb, zinc) s'explique par les modes de détermination de ces prix. Il s'agit soit de cotations quotidiennes établies sur des bourses de métaux (essentiellement le « London Metal Exchange » ou L. M. E.), ou publiées par des journaux spécialisés qui consultent les principaux négociants sur les prix qu'ils sont disposés à pratiquer (en particulier aux États-Unis), soit de prix fixés par les producteurs et qui sont sensiblement plus stables (1).

En fait, les cours du L. M. E. résultent de transactions physiques marginales, mais interviennent plus ou moins directement comme référence dans la plupart des contrats d'échanges bilatéraux producteur consommateur. L'étain fait, en outre, l'objet de cotations sur le marché physique de Penang, en Malaisie. Aux États-Unis, une bourse fonctionne à New York, le « Commodity Exchange » (COMEX) quoique la plus grande partie des échanges américains intérieurs reposent sur des prix producteurs. Les prix français, publiés par le Groupement d'importation des métaux, ou la Chambre syndicale des métaux, sont établis sur la base des cours du L. M. E.

Les séries de prix utilisées dans la présente étude sont indiquées en annexe.

1.2. *L'estimation des spectres*

L'analyse spectrale ne s'applique qu'aux chroniques stationnaires à l'ordre 2, c'est-à-dire ne présentant de tendance ni en moyenne, ni en variance. Dans le cadre de l'analyse spectrale, on peut définir la tendance comme l'ensemble des composantes sinusoïdales dont la période est supérieure à la longueur n de la période d'observation (n étant le nombre d'observations) (2). La méthode d'élimination de la tendance, retenue ici, est le calcul des

1. Le problème des modes de détermination des prix des métaux est abordé en particulier dans : [13], [14], [18].

2. C'est à-dire dont la fréquence angulaire est inférieure à $\frac{2\pi}{n}$; *cf.* Granger [6]. Nous caractériserons les composantes indifféremment par la période T, ou par la fréquence.

premières différences successives (1); en fait, cette méthode réduit considérablement l'influence des composantes de période supérieure ou comparable à la longueur de la chronique et atténue dans une moindre mesure celle des fluctuations amples.

Les spectres des quatorze chroniques citées en annexe ont été estimés sur deux périodes :

— de juillet 1950 à juin 1973, soit $n = 276$ observations et $m = 55$ retards estimés (et points d'estimation);

— de juillet 1950 à juin 1975, soit $n = 300$ et $m = 60$.

Le tableau 1 présente les périodes des composantes ou groupes de composantes significativement importantes des spectres. Les composantes sont regroupées en zones de fréquences correspondant à l'analyse des pages suivantes. Par exemple, le spectre du prix de gros du cuivre en France, de juillet 1950 à juin 1973, montre que les composantes dont les périodes sont comprises entre 3,2 et 4,2 mois (zone de hautes fréquences), entre 4,8 et 6,5 mois (moyennes fréquences), et entre 16 et 37 mois (basses fréquences) sont significatives; la composante de 2,2 mois (très hautes fréquences) est moins marquée.

1.3. *Les principales composantes fréquentielles de l'évolution des prix des métaux*

L'examen des spectres obtenus conduit à distinguer cinq zones de fréquence, dont chacune est susceptible de correspondre à un phénomène spécifique; en effet, à chacune d'entre elles peut être associé un pic caractéristique du spectre.

A. *Les composantes de basse fréquence*

Elles correspondent à des périodes supérieures à 16 mois. La majorité des spectres révèlent la présence de composantes significatives à ce niveau, pour les séries de 276 observations et plus encore pour celles de 300 observations : la prise en compte de l'escalade des prix des métaux en fin 1973 relève sensiblement le spectre sur les basses fréquences.

L'importance de ces composantes se rattache essentiellement à deux phénomènes :

— la présence de perturbations brutales qui se traduisent par des hausses drastiques de prix sur des périodes courtes : l'exemple le plus frappant en est le triplement du prix de plusieurs métaux au second semestre 1973. Elles trouvent leurs causes exogènes dans des crises internationales de grande ampleur : la guerre de Corée à l'origine des hausses de 1951; la dévaluation du dollar et la déficience du système monétaire international, la guerre au Moyen-Orient et la « crise de l'énergie », au second semestre 1973, cette conjonction d'événements s'étant, dans ce dernier cas, combinée à une tendance à la pénurie sur les marchés de plusieurs produits;

— l'existence d'une fluctuation à peu près quadriennale, enregistrée sur les niveaux absolus des prix des métaux, elle est explicitée par le tableau 2 qui indique les années des sommets et des minima de l'évolution des prix des métaux de base de 1951 à 1975. La durée moyenne séparant les sommets (ou les minima) successifs est de l'ordre de 4 ans, quoique la fluctuation soit loin d'avoir une régularité stricte, et que l'on doive s'attendre à ce qu'elle se manifeste sur une gamme assez large de composantes de basse fréquence.

1. *Cf.* Malinvaud [15], chapitre 12; Blomme et Philips [2], pp. 114-115.

Tableau 1

Périodes des composantes significatives des spectres

(Répartition par zones de fréquence)

Prix de gros		Très hautes fréquences	hautes fréquences	Moyennes fréquences	Basses fréquences
Cuivre en France	I	(2,2)	3,2—4,2	4,8—6,5	16—37
	II	(2,2)	3,2—3,8	5,7	10—40
Cuivre au Royaume Uni	I	2—2,6	3,6—4,1	6,1	16—55
	II	2,5	3,5—4,1	6	15—40
Cuivre aux États Unis	I		3,1—4,1	5,5—6,9 (10)	18—55
	II	2,3—2,5		4,6—5,2 10—12	40
Étain en France	I	2—2,2	3,3—3,9	7—12	
	II	2—2,5			15—40
Étain au Royaume Uni	I	(2,1)	2,6—2,8 3,7	8—11	
	II	2,2—2,4		4—6	14—60
Étain aux États Unis	I		2,5 3,1—3,7	7—18	
	II	2,1—2,3		4—5	10—60
Plomb en France	I			(5) (13)	22—55
	II		3,5—4,2	4,4—5,5 7—11	18—55
Plomb aux États Unis	I	2—4,4		6,5—10	
	II	2—4,8			
Plomb en Allemagne fédérale	I	2—2,3	3,1—3,6	(4,8—5,5) 9—16	27—55
	II	2,1—2,5		4,8—5,7 9—12	24—60
Zinc en France	I	2,1—2,3			18—55
	II	2—2,2			20—60
Zinc au Royaume Uni	I	2,3—2,5		4—4,3 6—9	18—55
	II	2,3—2,8		3,8—6	12—60
Zinc aux États Unis	I	2—3,6			37
	II				27—110
Zinc en Allemagne fédérale	I	2,1—2,2		4,4—6	27—55
	II		2,7—3,2	4—5,5	12—40
Ferrailles en France	I			3,8—4,4 5,2—5,8	27—55
	II	2—2,3	2,6—3	3,6—5,7	15—60

I . Observations mensuelles de juillet 1950 à juin 1973 (n = 276, m = 55).
II . Observations mensuelles de juillet 1950 à juin 1975 (n = 300, m = 60).
N. B. : les nombres entre parenthèses indiquent des pics presque significatifs des spectres.
— Les fréquences angulaires sont données par $\omega_j = \frac{2\pi}{n} j$, les fréquences en mois par . $\frac{j}{n}$, et les périodes par $\frac{n}{j}$.

Cet aspect de l'évolution des prix des métaux résulte de l'évolution de la pression exercée par la demande sur l'offre. Les phases de hausse de prix, qui culminent lors des années indiquées dans le tableau 2, correspondent à des accroissements de la consommation du métal (alors que l'inertie de la production n'induit une réponse de l'offre qu'avec retard) parfois accentués par des phénomènes accidentels tels que la constitution de stocks stratégiques pendant et après la guerre de Corée, des grèves dans les industries extractives, des dévaluations monétaires, la guerre du Kippour et la crise de l'énergie... A l'opposé, les minima résultent de phases de ralentissement de la consommation du métal; à la situation de pénurie succède une production excédentaire du fait de la réponse tardive de celle-ci à la forte demande de la phase précédente. Cette évolution quadriennale de la consommation des métaux, qui se traduit d'ailleurs plutôt au niveau des taux de variation qu'au niveau des

valeurs absolues, est étroitement liée à l'évolution de l'activité des économies industrialisées. De même que les phases de la conjoncture générale concordent entre les différentes économies industrialisées occidentales, les prix de marché libre des métaux connaissent des schémas semblables de variation à moyen terme, d'un pays à l'autre.

TABLEAU 2

Évolution générale des prix de gros du cuivre, de l'étain, du plomb et du zinc

A : Années des phases de hausse accélérée et des sommets de l'évolution de prix (1).
B : années des minima de l'évolution des prix (1).

Cuivre		Étain		Plomb		Zinc	
A	B	A	B	A	B	A	B
1952 (2)	1953 54	1951 (2)	1953	1951 52 (2)	1953	1951 52 (2)	1953
1955-56	1957 58	1956	1957 58 (6)	1956		1956	1958 (9)
1959 60	1961 2 3	1961	1962		1962	1959 (8)	1962
1965-66	1967 (5)	1964 65	1967 68 (7)	1964	1966 67	1964	1966 7 8
1967 68 (3)	1968						
1969 (4)	1971 72	1969 70	1971	1969	1971	1969	1971
1973		1973 74		1973 74		1973	

1. Il s'agit des mouvements communs aux séries de prix indiquées en annexe
2. Le haut niveau des prix des métaux en 1952 est étroitement lié aux conséquences de la guerre de Corée et à la constitution des stocks stratégiques américains
3. La hausse marquée du prix du cuivre en 1967 1968 est due à une grève importante aux États Unis, qui dura de juillet 1967 à mars 1968.
4 1970 pour les États Unis.
5 Minimum non apparent pour les États-Unis.
6. Minimun non apparent pour la France.
7. 1966 1967 pour les États Unis.
8. 1960 pour les États Unis.
9 Minimum non apparent pour les États Unis.

B. *Les composantes de moyenne fréquence, de périodes comprises entre 7 et 16 mois*

Elles engendrent des pics sur les spectres des prix de l'étain et du plomb pour les observations de juillet 1950 à juin 1973, ainsi que ceux des prix du cuivre et de l'étain aux États-Unis, du plomb en France et en Allemagne occidentale, pour les observations allant de juillet 1950 à juin 1975.

L'importance de ces composantes s'explique principalement par l'irrégularité de l'évolution des prix des métaux qui se traduit par un enchevêtrement de fluctuations prenant l'apparence de vagues plus ou moins longues. C'est ainsi qu'apparaissent sur les chroniques du plomb, de l'étain, et dans une moindre mesure sur celles du cuivre, des fluctuations assez nombreuses d'une durée variable allant de 4,5 à 10 ou 15 mois. L'irrégularité des caractéristiques de ces vagues courtes (longueur, amplitude, position) semble écarter toute interprétation en termes de cyclicité; en effet, leurs phases hautes ou basses concernent indistinctement n'importe quel mois de l'année, et elles disparaissent parfois complètement.

Par ailleurs, la présence d'une perturbation brutale, si elle ne prend pas des proportions trop considérables, peut se traduire par un relèvement du spectre au niveau des composantes de périodes comprises entre 7 et 16 mois, lorsque celles-ci répondent déjà à ces vagues courtes et irrégulières qui viennent d'être décrites; c'est le cas des prix de l'étain aux États-Unis, du plomb en France et en Allemagne fédérale, de 1950 à 1975.

L'explication de ce phénomène est illustrée par le graphique 1. Une perturbation brutale intervient à deux niveaux dans la décomposition d'une chronique; d'une part, l'importance de sa contribution à la variance totale de la chronique se traduit par des composantes de basse fréquence de grande amplitude (du type de la sinusoïde I, fig. 1), d'autre part, la rapidité de la hausse à laquelle correspond la perturbation ne peut être reproduite qu'en ajoutant aux sinusoïdes de basse fréquence, des sinusoïdes de fréquence plus élevée (du type de la sinusoïde II, fig. 1); celles-ci se traduisent sur le spectre par un lobe secondaire dans la zone de moyennes fréquences.

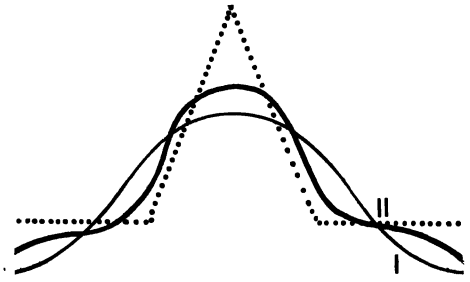


FIG. 1.

C. *Les composantes de moyenne fréquence, de périodes comprises entre 4, 5 et 7 mois*

Leur importance est étroitement liée à la présence de perturbations ou de fluctuations de basse fréquence amples; elles concernent :

— pour les séries allant jusqu'en juin 1973, les prix du cuivre et du plomb en France, du cuivre au Royaume Uni et aux États Unis (fortes fluctuations de basse fréquence), le prix des ferrailles en France (évolution irrégulière et perturbée sur les basses fréquences), le prix du zinc en Allemagne occidentale (perturbation provoquée par la guerre de Corée);

— pour les séries allant jusqu'en juin 1975, les prix du cuivre en France, au Royaume-Uni et aux États Unis, de l'étain aux États-Unis et au Royaume-Uni, du plomb et des ferrailles en France, du zinc en Allemagne occidentale et au Royaume-Uni; ces chroniques correspondent aux cas où la hausse du prix du métal en 1973-1974 a été la plus brutale.

D. *Les composantes de haute fréquence*

Elles correspondent à des périodes comprises entre 2,5 et 4,5 mois. Significatives sur la plupart des spectres, elles relèvent d'une double origine :

— l'irrégularité de l'évolution des prix (il s'agit de cotations quotidiennes) se traduit au niveau des observations mensuelles par des changements fréquents du sens de variation du prix. Cette évolution saccadée en dents de scie confère aux composantes de haute fréquence une contribution relative élevée, dans la variance de la chronique (1);

1. Le fait que le calcul de certains spectres sur des données hebdomadaires et pour des périodes plus courtes (janvier 1967 à juin 1973) ne fait pas apparaître de pics au niveau des composantes de période comprise entre 2 et 4 mois, corrobore ce résultat.

— la répercussion d'une perturbation brutale importante se retrouve sous forme de lobe secondaire non seulement au niveau des moyennes fréquences, mais aussi au niveau des hautes fréquences; les spectres des prix du zinc en Allemagne occidentale et au Royaume-Uni de 1950 à 1975 en sont des exemples.

E. *Les composantes de très haute fréquence*

Elles correspondent à des périodicités comprises entre 2 et 2,5 mois. Elles engendrent des pics sur de nombreux spectres, par exemple ceux des prix du zinc au Royaume-Uni et en Allemagne occidentale, du cuivre au Royaume Uni, du plomb en Allemagne, et de l'étain en France, pour les séries allant de 1950 à 1973.

La contribution de ces composantes s'explique par le caractère convulsif de l'évolution des prix concernés, combiné au fait que les observations sont mensuelles.

La justification de la distinction entre composantes de haute et de très haute fréquence est donc double :

— le caractère saccadé à court terme des prix se manifeste dans l'une ou dans l'autre des zones (et parfois dans les deux) selon l'intensité du phénomène; cette distinction permet donc de porter une appréciation;

— les effets secondaires d'une perturbation brutale se produisent au niveau des hautes fréquences, et non au niveau des très hautes fréquences.

1.4. *Remarques sur la forme générale des spectres*

L'examen des spectres permet d'apprécier l'importance relative des fluctuations de natures différentes, de l'évolution des prix des métaux.

— Il apparaît d'abord que le calcul des premières différences écrase le spectre au niveau des très basses fréquences, ce qui atténue la contribution des fluctuations quadriennales.

— Une perturbation importante se traduit par un pic au niveau des basses fréquences; si elle n'est pas trop brutale, elle engendre un lobe secondaire sur les moyennes fréquences correspondant à des périodicités de 7 à 16 mois (1). Si elle est aiguë, elle se manifeste par un lobe secondaire au niveau des moyennes fréquences correspondant à des périodicités de 4,5 à 7 mois (2). Si elle est très importante, elle engendre un autre lobe secondaire sur les hautes fréquences (3).

— Une évolution relativement stable à long terme, alors que les prix restent souvent pratiquement à un même niveau sur plusieurs mois consécutifs, ne fait apparaître que des composantes significatives de haute fréquence, plus ou moins marquées selon la rapidité des changements de prix (4).

1. C'est le cas pour les séries de prix du plomb en France et en Allemagne, de l'étain en France, au Royaume Uni et aux États Unis, du cuivre en France et aux États Unis, du zinc au Royaume Uni et en Allemagne, pour $n = 300$ observations (1950 1975).

2. Par exemple, *cf.* les prix du plomb en France, de l'étain aux États Unis et au Royaume Uni, du cuivre aux États Unis et en France, du zinc au Royaume Uni et en Allemagne fédérale, pour les observations allant de juillet 1950 à juin 1975.

3. Des exemples en sont les spectres des prix du zinc en France et en Allemagne, de l'étain en France, aux États-Unis et au Royaume Uni, pour les observations allant de 1950 à 1975.

4. Par exemple, prix du plomb et du zinc aux États Unis, pour les données de 1950 à 1973.

— Si, de plus, la chronique connaît des fluctuations amples quadriennales, le spectre montre une forme en auge (1).

— Une fluctuation ample au niveau des basses fréquences et une évolution à court terme peu accidentée fournissent un spectre horizontal manifestant un pic dans la zone des basses fréquences (2).

— Lorsque les fluctuations quadriennales ne sont pas très nettes, la présence de fluctuations de moyenne fréquence très marquées élève la partie médiane du spectre (3).

2. *Mise en évidence de certaines caractéristiques de l'évolution des prix des métaux*

Les résultats que nous avons obtenus grâce à l'analyse des spectres des prix des métaux de base suscitent deux questions :

Compte tenu des origines diverses des fluctuations mises en évidence, l'évolution de ces prix présente-t-elle un caractère essentiellement régulier ou aléatoire? L'examen de ce problème peut être scindé en deux, par référence à deux formes spectrales caractéristiques :

— la « forme spectrale typique d'une variable économique » définie par Granger (4);

— la forme spectrale associée à un processus purement aléatoire.

La généralité des causes de ces fluctuations de prix permet elle d'en conclure l'existence d'une conjoncture internationale sur les marchés des métaux? L'analyse cospectrale des différents prix de chaque métal apporte une réponse affirmative.

2.1. « *Forme spectrale typique* » *de Granger et spectres des prix de gros des métaux*

A la suite de l'examen d'un grand nombre de spectres estimés à partir de données économiques, C. W. J. Granger a pensé mettre en évidence une forme caractéristique générale, dite « forme typique », des spectres de variables économiques débarrassées de leurs tendances en moyenne : « Les fluctuations à long terme des variables économiques, lorsqu'elles sont décomposées selon les fréquences, sont telles que les amplitudes des composantes décroissent régulièrement lorsque la période diminue ». Autrement dit, la contribution d'une composante à la variance totale de la chronique est d'autant plus faible que cette composante a une fréquence élevée. Le spectre a donc une pente fortement négative; la présence d'une tendance en moyenne ne fait qu'accentuer la forme typique.

Or, peu de spectres calculés dans cette étude ont cette allure, mais cela ne peut infirmer l'hypothèse de Granger pour deux raisons.

D'une part, l'aspect même des chroniques semble répondre à l'interprétation de l'existence de la forme typique. Leurs fluctuations de basse fréquence (approximativement quadriennales) ont une amplitude beaucoup plus importante que les fluctuations de moyenne et de haute fréquence; ainsi, d'une façon générale, plus la fréquence d'une fluctuation est élevée et plus sa contribution à la variance totale de la chronique est faible. Les exceptions

1. Cas du spectre du prix du zinc en France pour les observations allant de 1950 à 1973.
2. Cas du spectre du prix de l'étain en France, pour la période 1950-1973.
3. Cas du spectre du prix du plomb en France, pour la période 1950-1973.
4. *Cf.* Granger [5].

que constituent le prix du plomb aux États-Unis, et celui du zinc aux États-Unis et en France, correspondent à des prix-producteurs dont la détermination peut être considérée dans une certaine mesure comme arbitraire.

D'autre part, la méthode d'élimination de la tendance par le calcul des différences premières conduit à réduire considérablement l'importance des fluctuations de basse et de très basse fréquence, au profit des perturbations brutales et des fluctuations courtes, ce qui explique les formes spectrales obtenues.

2.2. *Fluctuations des prix de gros des métaux et processus aléatoires*

L'examen graphique et l'analyse spectrale des quatorze séries de prix de gros des métaux de base a permis de décomposer leurs évolutions et de mettre en évidence certaines modalités spécifiques de fluctuation. S'agit il cependant de fluctuations engendrées par des mécanismes réguliers, ou de mouvements issus d'un processus générateur purement aléatoire?

Un processus purement aléatoire est tel que les variations futures du prix, et donc les valeurs futures du prix, ne peuvent être réduites de ses valeurs présentes et passées. Par conséquent, les chroniques qu'il engendre ne doivent connaître de tendance ni en moyenne, ni en variance. De plus, les prix apparus à deux dates différentes doivent être indépendants. Le processus purement aléatoire engendre donc des chroniques ne comportant aucune composante cyclique, ou ne présentant aucun caractère de régularité, et les mêmes propriétés demeurent vérifiées pour les chroniques de variations de prix.

L'analyse spectrale nous a permis de mettre en évidence trois types de fluctuations sur les chroniques de prix :

— des perturbations brutales résultant de phénomènes exogènes;

— des fluctuations approximativement quadriennales associées aux variations de la consommation de métal, elles-mêmes induites par l'évolution de l'activité économique générale; il s'agit là aussi d'un mouvement suscité par des causes exogènes;

— des fluctuations courtes, de 2 à 10 mois environ selon les cas, traduisant l'évolution heurtée des prix et le caractère mensuel des observations.

Si une régularité inhérente à l'évolution des prix existe, elle doit être recherchée dans cette troisième catégorie; or, l'analyse de la section 1 ne semble justifier aucune interprétation en termes de cyclicité. De plus, le caractère irrégulier et plus ou moins saccadé de l'évolution des prix de gros des métaux s'explique par leurs modes de détermination; les cours des bourses des métaux résultent de la confrontation quotidienne d'offres et de demandes; les quantités échangées ne représentent qu'une proportion assez faible des transactions physiques de métal réalisées dans le monde, et elles ont parfois un caractère intrinsèquement marginal, correspondant à des ajustements marginaux de stock de consommateurs ou à des excédents de production; cela confère aux cotations boursières des métaux une certaine instabilité, accrue par la spéculation. Les prix producteur, quant à eux, répondent à un souci de stabilité; les modifications qu'ils connaissent sont dictées par l'évolution des coûts (changes, coûts salariaux d'extraction, teneur des minerais...), mais aussi par la situation générale de la relation offre demande.

Il est en tous les cas clair qu'à un moment donné, il est pratiquement impossible de prévoir le prix à venir, à partir des prix présents et passés (quoique cela soit plus vraisem-

blable pour les prix producteurs). Nous pouvons donc considérer que le processus générateur des cours des métaux de base est proche d'un processus purement aléatoire, auquel se superpose une influence extérieure induisant une fluctuation quadriennale plus ou moins floue.

Dire que l'évolution du prix d'un métal est engendrée par un processus proche d'un processus purement aléatoire pose le problème de la nature des causes des fluctuations. En effet, nous avons souligné que les prix futurs d'une chronique répondant à un processus purement aléatoire peuvent être prévus à condition de prendre en compte des informations extérieures. Étudier les causes de ces fluctuations relève d'un travail qui est hors du cadre de la présente étude. Mais, puisque notre analyse a fait intervenir plusieurs prix d'un même métal, il est un point que nous pouvons aborder : les fluctuations de prix possèdent-elles un caractère national ou répondent-elles à une conjoncture de dimension internationale des marchés des métaux?

4.3. *Fluctuations des prix des métaux : comparaisons internationales*

Un simple examen graphique des chroniques montre déjà une certaine concordance d'évolution pour les prix d'un même métal; mais un instrument particulièrement fructueux pour aborder ce point est l'analyse cospectrale qui permet de rechercher les relations éventuelles entre deux chroniques au niveau des différentes composantes périodiques.

Les fonctions cospectrales ont été estimées pour neuf couples de chroniques, associant le prix français de chacun des quatre métaux, à chaque prix étranger du même métal (1). Les résultats obtenus pour les fonctions de cohérence et de phase sont présentés dans le tableau 3 qui indique les périodes pour lesquelles ces fonctions cospectrales sont significatives, au seuil de confiance de 95 %.

Dans chaque sous-tableau d'analyse cospectrale apparaissent les cinq zones de fréquence distinguées dans la section 3. Les périodes correspondant à un déphasage significatif sont surmontées de signes + ou —, indiquant s'il s'agit d'une avance (+) ou d'un retard (—) du premier prix sur le second, c'est-à-dire du prix français sur le prix étranger. Seuls, deux déphasages sont suffisamment nets pour être retenus (zone de fréquence concernée assez longue, et cohérence significative) quoiqu'ils doivent être interprétés avec prudence du fait du caractère mensuel des observations.

Les résultats de cette application de l'analyse cospectrale conduisent à deux constatations :

— le caractère international de la conjoncture sur les marchés des métaux de base se manifeste à travers les valeurs significativement élevées des cohérences (2) des couples de prix d'un même métal en différents pays. Le phénomène apparaît non seulement au niveau des basses fréquences où il traduit la concordance dans le monde occidental de l'évolution de l'activité économique générale (qui s'est manifestée par une fluctuation périodique d'environ quatre ans) mais aussi sur les moyennes fréquences, indiquant que même des fluctuations de prix accidentelles (3) de quelques mois peuvent se répercuter d'un pays à l'autre. Cependant, les États Unis apparaissent, au moins pour trois métaux (cuivre, plomb, zinc)

1. Les observations vont de juillet 1950 à juin 1973, soit $n = 276$.

2. Le seuil de confiance conduit à ne retenir comme significatives que les cohérences supérieures à 0,55.

3. Il peut s'agir de la conséquence, par exemple, d'une diminution de l'offre provoquée par une grève dans les mines. Cette diffusion internationale de prix est étroitement liée aux modes de détermination des prix décrits au paragraphe 11.

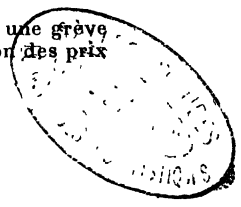


TABLEAU 3

Analyse cospectrale des prix de gros des métaux

Observations : juillet 1950 juin 1973.

Nombre d'observations : 276 — Nombre de retards estimés : 55.

ANALYSE COSPECTRALE DES PRIX DE GROS DU CUIVRE EN FRANCE ET AU ROYAUME-UNI

	2,5	4,5	7	16
Cohérence	2—2,1 ; 2,5 ; 3,1—4,2		6,1—6,9 ; 8 ; 10—11	18—27 ; 55—110
Phase	+ 2,2	+ 5,2	— 9—11	— 18—22

ANALYSE COSPECTRALE DES PRIX DE GROS DU CUIVRE EN FRANCE ET AUX ÉTATS-UNIS

	2,5	4,5	7	16
Cohérence	3,8	6,5	14	22 ; 55
Phase	+ 3,8—4,1	+ 5,8—6,1	+ 8,5	+ 14—16 Avance ; + 27—37 d'environ 4 semaines

ANALYSE COSPECTRALE DES PRIX DE GROS DE L'ÉTAIN EN FRANCE ET AU ROYAUME-UNI

	2,5	4,5	7	16
Cohérence	2,2 ; 3,4—3,7	4,4—4,8 ; 5,2—6,5	8,5 — 110	
Phase	+ 3,4—3,8	— 4,6—4,8 ; + 5,2—5,5		

ANALYSE COSPECTRALE DES PRIX DE GROS DE L'ÉTAIN EN FRANCE ET AUX ÉTATS-UNIS

	2,5	4,5	7	16
Cohérence	2,8 — 4,6 ; 5,2 — 110			
Phase	+ 5,5—5,8			

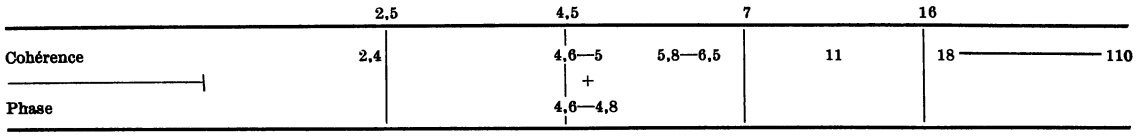
ANALYSE COSPECTRALE DES PRIX DE GROS DU PLOMB EN FRANCE ET AUX ÉTATS-UNIS

	2,5	4,5	7	16
Cohérence				37 — 110
Phase				

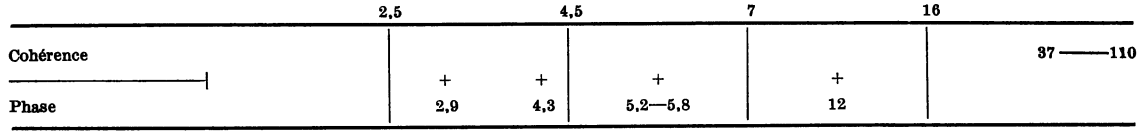
ANALYSE COSPECTRALE DES PRIX DE GROS DU PLOMB EN FRANCE ET EN ALLEMAGNE OCCIDENTALE

	2,5	4,5	7	16
Cohérence	3,2—3,8 ; 4,2 — 6		8,5 ; 10 — 18 ; 27 — 110	
Phase	+ 2,2 ; + 3,1	+ 4,6—5		+ 22

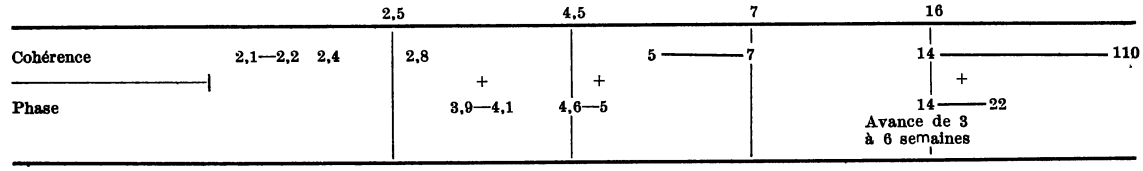
ANALYSE COSPECTRALE DES PRIX DE GROS DU ZINC EN FRANCE ET AU ROYAUME-UNI



ANALYSE COSPECTRALE DES PRIX DE GROS DU ZINC EN FRANCE ET AUX ÉTATS-UNIS



ANALYSE COSPECTRALE DES PRIX DE GROS DU ZINC EN FRANCE ET EN ALLEMAGNE OCCIDENTALE



Le signe + sur les phases indique une avance du premier prix sur le second, le signe —, un retard.
Le tableau indique les périodes de décomposition significatives pour les fonctions de phase et de cohérence.

comme un marché en partie isolé, où peu de fluctuations extérieures se diffusent. C'est la conséquence de l'existence de prix producteurs américains intérieurs, qui répondent à un souci de stabilité;

— la seconde constatation concerne l'étain. Ce métal a fait l'objet de politiques concertées de stabilisation de prix, de la part des pays producteurs et consommateurs dans le cadre des différents accords internationaux sur l'étain qui se sont succédés depuis 1956; la politique de stabilisation du prix repose sur la gestion d'un stock régulateur, et sur des mesures de contingentements de production et d'exportation. Il semble que les résultats soient en général positifs lorsque l'on considère la période juillet 1950 juin 1973; on remarque que parmi les spectres obtenus pour cette période, seuls, ceux des prix de gros de l'étain présentent des basses fréquences moins heurtées que les moyennes fréquences (à l'exception des prix producteurs américains) : cela traduit donc en particulier un certain écrasement des fluctuations de période supérieure à un ou deux ans.

Conclusion

Cette étude a finalement fourni des résultats dans deux domaines :

— le domaine méthodologique : l'analyse spectrale est apparue comme un instrument fructueux d'investigation des fluctuations des chroniques, et des irrégularités de leur évolution, au delà de la simple appréhension des cyclicités. Son efficacité résulte de la décomposition des chroniques dans le domaine des fréquences.

— le domaine conjoncturel des fluctuations des prix de gros des métaux, prix dont l'analyse spectrale a aidé à mettre en lumière ou à confirmer plusieurs caractéristiques.

Les composantes périodiques issues de la décomposition spectrale des chroniques ont pu être regroupées en cinq zones de fréquence associées à des phénomènes différents; une zone de basses fréquences où se reflète une cyclicité approximativement quadriennale, induite par l'évolution de la consommation, consécutive à l'évolution de l'activité économique générale; deux zones de moyennes fréquences où se manifestent essentiellement les répercussions des perturbations brutales dans les chroniques de prix (hausse des prix des métaux en fin 1973 en particulier); une zone de hautes fréquences et une zone de très hautes fréquences où se traduit la nature heurtée et irrégulière de l'évolution des cours par suite du caractère mensuel des observations.

Le processus générateur de ces chroniques est donc proche d'un processus purement aléatoire en raison du mode de détermination des cours des métaux : il est pratiquement impossible de prévoir les variations futures des prix à partir des variations présentes et passées. Néanmoins, la présence des fluctuations quadriennales d'une part, le fait que les irrégularités prennent une ampleur d'autant plus grande qu'elles sont considérées sur un intervalle temporel plus long d'autre part, permettent de retrouver en partie l'allure de la « forme spectrale typique » de Granger.

La comparaison des prix des métaux dans différents pays, menée à l'aide de l'analyse cospectrale, montre le degré élevé de diffusion des fluctuations des cours des métaux de base dans les pays industrialisés et souligne le caractère mondial de la conjoncture sur les marchés de ces métaux.

L'auteur remercie le P^r J.-P. Vignau, qui dirige la recherche dans le cadre de laquelle se situe cette étude, pour ses suggestions et ses conseils, ainsi que M. Y. Loubatières qui a bien voulu assurer la lourde tâche de l'élaboration et de l'amélioration des programmes informatiques d'analyse spectrale utilisés dans cette étude. Les calculs ont été effectués au Laboratoire d'informatique de la faculté de droit et des sciences économiques de Montpellier.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Banks F. E. — « The World Copper Market : An Economic Analysis. » Heath Lexington Books, 1970.

[2] Blomme R., Philips L. — « Analyse chronologique. » Vander, Louvain, 1973.

[3] Calabre S. : « Analyse spectrale des fluctuations des prix des métaux. » Laboratoire d'économétrie, Faculté de droit, U. de Montpellier, février 1976.

[4] Fishman G. S. — « Spectral Methods in Econometrics. » Harvard U. P. Cambridge, 1969.

[5] Granger C. W. J. : « The Typical Shape of an Economic Variable. » *Econometrica*, 34, janvier 1966, pp. 150-161.

[6] Granger C. W. J., Hatanaka M. — « Analyse spectrale des séries temporelles en économie. » Dunod, 1969.

[7] Granger C. W. J., Hughes A. D. — « Spectral Analysis of Short Series. » *Journal of Royal Statistical Society* (A), 131, 1968, pp. 83-99.

[8] GRANGER C. W. J., MORGENSTERN D. — « Spectral Analysis of New York Stock Market Prices. » Kyklos, vol. XVI, 1963, fasc. 1, pp. 1-27.

[9] GRANGER C. W. J. : « Some Aspects of the Random Walk Model of Stock Market Prices. » *International Economic Review*, vol. 9, n° 2, juin 1968, pp. 253 257.

[10] HOWREY E. P. — « A spectrum Analysis of the Long Swing Hypothesis. » *International Economic Review*, juin 1968, vol. 9, n° 2, pp. 228 252.

[11] JENKINS G. M. et WATTS D. G. — « Spectral Analysis and its Applications. » Holdenday, San Francisco, 1968.

[12] KENDALL M. G., STUART A. — « The Advanced Theory of Statistics. » Vol. 3 : « Design and Analysis, and Time Series », Londres 1968.

[13] LABYS W. C., GRANGER C. W. J. — « Speculation, Helging and Commodity Price Forecasts. » Heath Lexington Books, 1970.

[14] LABYS W. C., REES H. J. B., ELIOTT C. M. — « Copper Price Behaviour and the London Metal Exchange. » *Applied Economics*, 1971, n° 3, pp. 99 113.

[15] MALINVAUD E. : « Méthodes statistiques de l'économétrie. » Dunod, 1969.

[16] MALINVAUD E., FOUQUET D. — « Analyse spectrale de données économiques : un essai sur l'activité dans l'industrie française. » *Annales de l'I. N. S. E. E.*, n° 6, janvier avril 1971, pp. 41-7.

[17] QUINET E. — « Séries temporelles et décisions économiques. » Dunod, 1969.

[18] *Annales des Mines*, Paris, juin juillet 1971, octobre 1973, janvier 1975.

ANNEXE

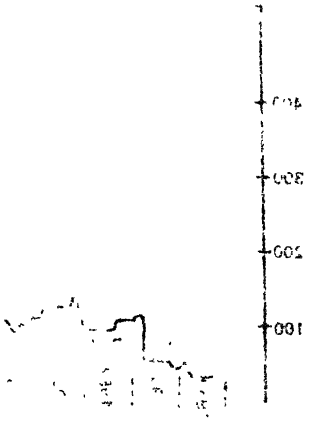
Chroniques des prix des métaux

Les chroniques de prix de métaux analysées dans cette étude sont les suivantes (1) :

— Prix de gros du cuivre électrolytique (en barres) en France.
— Prix de gros du cuivre électrolytique (en cathode) au Royaume Uni (L. M. E.).
— Prix de gros du cuivre électrolytique (en barres) aux États Unis (prix producteur).
— Prix de gros de l'étain (en lingots, 1res marques) en France.
— Prix de gros de l'étain au Royaume Uni (L. M. E.).
— Prix de gros de l'étain des Détroits à New York.
— Prix de gros du plomb (à plus de 99,9 %, en saumon) en France.
— Prix de gros du plomb ordinaire à New York.
— Prix de gros du plomb (à 99,97 %) en Allemagne fédérale.
— Prix de gros du zinc thermique (à 97,7 %) en France.
— Prix de gros du zinc au Royaume Uni (L. M. E.).
— Prix de gros du zinc (Prime Western) aux États Unis.
— Prix de gros du zinc (à 98 %) en Allemagne fédérale.
— Prix de gros des ferrailles (catég. 11) à Paris.

Ces séries sont représentées sur les graphiques des pages suivantes.

Les observations, mensuelles, couvrent la période juillet 1950-juin 1975.



1. Source : *Bulletin Mensuel de Statistique*, I. N. S. E. E.; données en fin de mois; moyennes mensuelles pour l'Allemagne fédérale.

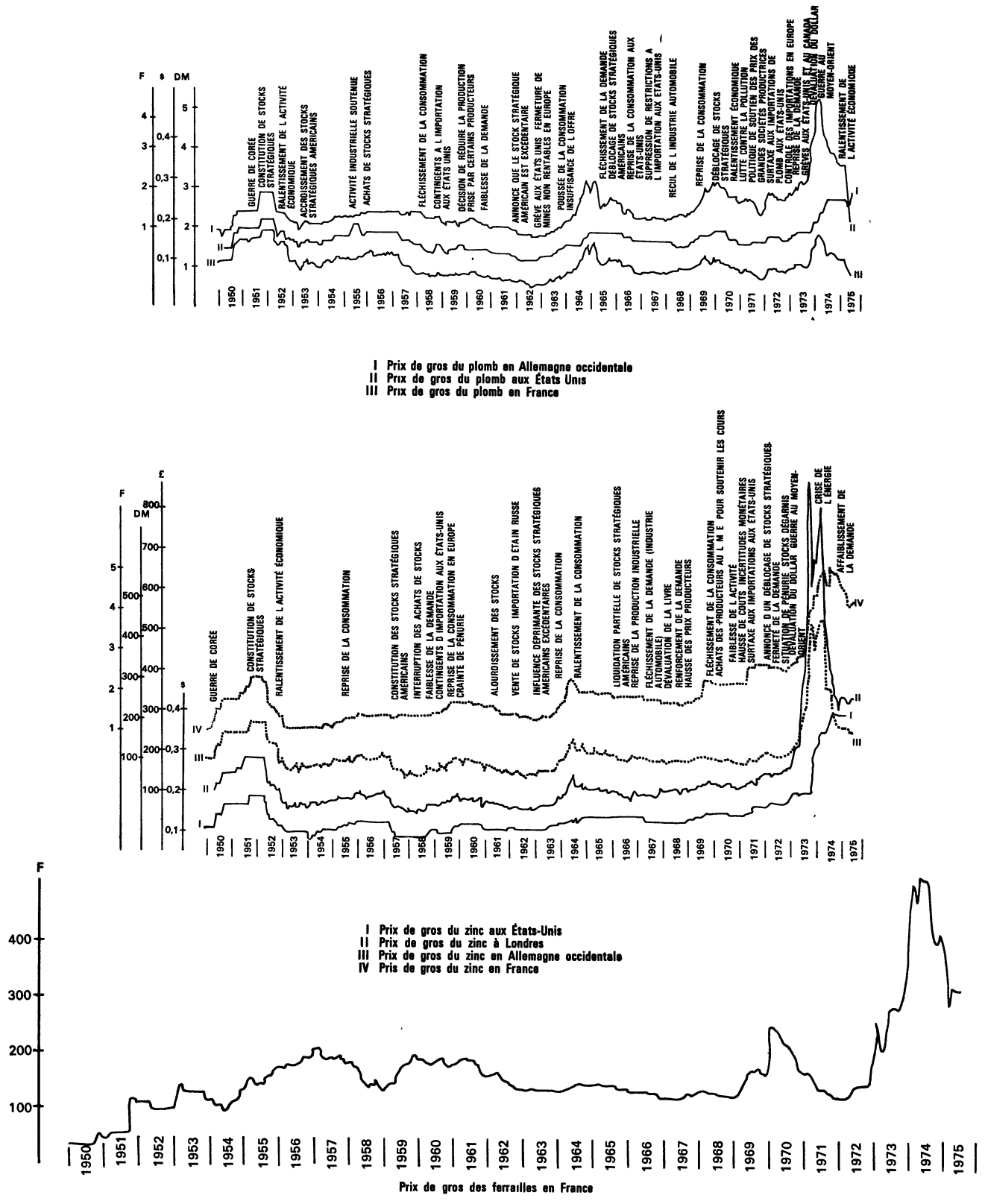


FIG. 2 *bis*. — Chroniques des prix de gros.

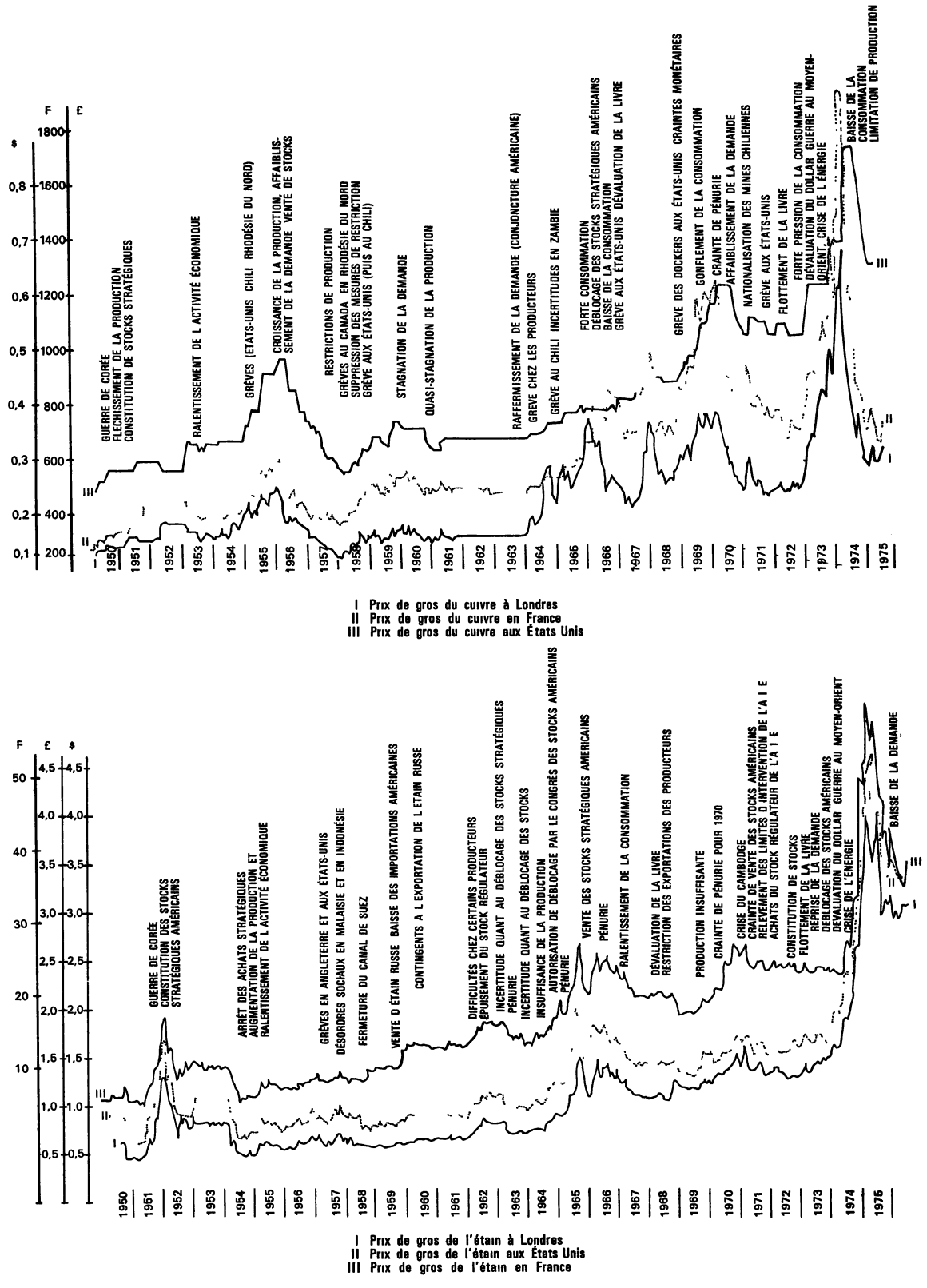


FIG. 2. — Chroniques de prix de gros.